

МОДЕЛЬ ЛЕОНТЬЄВА-ФОРДА ЯК ІНСТРУМЕНТ АНАЛІЗУ РЕСУРСІВ У ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМАХ

Годлюк Віктор Васильович

Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, goodiniv@ukr.net

В роботі висвітлено можливості застосування моделі Леонтьєва-Форда для аналізу ресурсів цифрових платформ, таких як хмарні обчислення, IoT та дата-центри. Модель дозволяє враховувати взаємозалежності між компонентами систем і забезпечує інструменти для оптимізації використання обчислювальних, енергетичних і комунікаційних ресурсів. Математична формалізація, запропонована в межах моделі, сприяє аналізу структури міжгалузевого балансу платформи, дозволяючи ідентифікувати обмеження, які впливають на її ефективність, та визначати напрями для оптимізації [1].

Модель Леонтьєва-Форда базується на детальному аналізі взаємозалежностей між компонентами системи, де кожен компонент одночасно споживає й виробляє ресурси, утворюючи складну мережу взаємозв'язків. Це дозволяє враховувати всі основні потоки ресурсів, а також їхній вплив на загальну ефективність системи. У контексті цифрових платформ такими компонентами можуть виступати різноманітні підсистеми та елементи інфраструктури, кожен із яких відіграє специфічну роль у функціонуванні всієї платформи [2].

До цих компонентів можуть належати:

- Обчислювальні ресурси (сервери, процесорні ядра, віртуальні машини), які обробляють дані від користувачів.
- Енергетичні ресурси (забезпечують роботу всіх систем і пристроїв, включаючи живлення дата-центрів та периферійних пристроїв).
- Канали передачі даних (мережева інфраструктура, маршрутизатори, комутатори, оптоволоконні лінії), що забезпечують зв'язок між користувачами й серверами.
- Системи зберігання даних (жорсткі диски, SSD-накопичувачі, системи зберігання).
- Периферійні пристрої (сенсори IoT або користувацькі пристрої, що виступають джерелами даних або кінцевими споживачами інформації).

За допомогою моделі Леонтьєва-Форда є можливість вирішення проблем дисбалансу у завантаженні ресурсів (модель допомагає виявити, які компоненти платформи перевантажені або недовантажені, що впливає на загальну продуктивність та ефективність ресурсів), неоптимального керування енергоспоживанням (визначення компонентів, які споживають надмірну кількість енергії, та оптимізація їх використання), обмеження пропускної здатності каналів передачі даних (модель враховує максимальну можливу пропускну здатність каналів передачі даних, що дозволяє уникнути їх перевантаження).

Математична модель Леонтьєва-Форда в контексті цифрової платформи будується на основі міжгалузевого балансу, адаптованого для аналізу взаємодії цифрових компонентів [3].

Основні змінні та параметри моделі:

x_i — кількість ресурсу, спожитого або виробленого компонентом i платформи (наприклад, обчислювальна потужність, пропускна здатність каналу чи енергоспоживання).

a_{ij} — коефіцієнт прямих витрат, що відображає кількість ресурсу i , необхідного для забезпечення роботи компонента j .

d_i — кінцевий зовнішній попит на ресурс i (наприклад, навантаження від користувачів платформи або запити на зберігання даних).

Основне рівняння моделі Леонтьєва-Форда:

$$x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j + d_i$$

Де:

$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j$ — внутрішнє споживання ресурсу i іншими компонентами платформи.

d_i — зовнішній попит на ресурс i (наприклад, запити користувачів на обчислення, зберігання чи передачу даних).

Матричний запис:

$$x = (I - A)^{-1} \cdot d$$

Де:

$x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ — вектор обсягів споживання ресурсів компонентами платформи.

A — матриця коефіцієнтів прямих витрат a_{ij} .

$d = [d_1, d_2, \dots, d_n]^T$ — вектор кінцевого зовнішнього попиту.

Для цифрової платформи з врахуванням енергоспоживання, враховуємо ресурс e_i , який описує енергоспоживання компонентом i :

$$e_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \cdot x_j$$

де b_{ij} — коефіцієнт енергоспоживання ресурсу i компонентом j .

Для цифрової платформи з врахуванням пропускної здатності каналів модель включає обмеження на максимальну пропускну здатність каналів передачі даних C_k

$$\sum_{i \in K_k} x_i \leq C_k$$

де K_k — компоненти, що використовують канал k .

Для прикладу застосуємо модель до гіпотетичної цифрової платформи, яка надає хмарні сервіси (обчислювальні потужності, зберігання даних та аналітичні інструменти). У межах цієї платформи функціонують кілька компонентів, зокрема:

- Обчислювальні кластери для виконання користувацьких задач.
- Сховища даних із різними рівнями доступності та швидкості.
- Канали передачі даних, які забезпечують зв'язок між клієнтами й серверами.

За допомогою моніторингових систем отримуємо дані про споживання енергії, пропускну здатність каналів передачі даних та завантаження серверів. Виявлено, що деякі сервери працюють із низьким завантаженням, тоді як інші — із перевантаженням, що спричиняє підвищене енергоспоживання та можливі затримки у виконанні задач [4].

Розроблено матрицю ресурсних зв'язків, яка відображає обмін ресурсами між компонентами платформи. Наприклад, для обчислювальних кластерів враховано їх енергоспоживання у співвідношенні до обчислювальної потужності, а для каналів — енергетичну ефективність передачі даних:

$$E_s = P_s \cdot l_s$$

Де:

E_s — енергоспоживання серверу s

P_s — електрична потужність серверу s

l_s — коефіцієнт завантаження серверу.

Визначено коефіцієнти прямих витрат для оцінки впливу кожного компонента на загальну ефективність:

$$A = (a_{ij})$$

де a_{ij} відображає поточний ресурсний обмін між компонентами i та j .

Аналіз показав, що найвищі втрати енергії припадають на сервери з низьким завантаженням через неефективне управління задачами, також виявлено перевантаження деяких каналів передачі даних, що уповільнює обмін інформацією між користувачами та серверами.

Для оптимізації виконується моделювання сценаріїв перерозподілу обчислювальних задач між кластерами:

$$\Delta l_{s_1} + \Delta l_{s_2} + \Delta l_{s_3} = 0$$

де менш завантажені сервери отримали більше задач, що знизило загальне енергоспоживання, та проводиться оптимізація розподілу трафіку, що дозволило уникнути перевантаження ключових каналів передачі даних:

$$\eta_c = \frac{D_c}{E_c}$$

Де:

η_c — коефіцієнт ефективності передачі даних для каналів c

D_c — передана кількість даних

E_c — споживана енергія.

В результаті проведеної роботи енерговитрати платформи знижено, завдяки раціональному використанню обчислювальних ресурсів і перерозподілу задач, час відповіді системи зменшено, що покращило якість обслуговування клієнтів, та досягнуто більш рівномірного розподілу навантаження між компонентами, що дозволило підвищити надійність і стійкість платформи до пікових навантажень.

Завдяки моделі Леонтьєва-Форда вдалось створити основу для автоматизованої системи управління ресурсами, яка реагує на зміни в режимі реального часу.

Модель Леонтьєва-Форда виявилася ефективним інструментом для аналізу та оптимізації ресурсів цифрових платформ. Її застосування дозволяє розширити можливості управління обчислювальними, енергетичними та комунікаційними ресурсами, що є важливим аспектом для сучасних хмарних платформ, IoT систем та дата-центрів.

Аналіз показав, що модель дозволяє виявляти ключові проблеми, такі як неефективне використання енергії, перевантажені обчислювальні кластери і недостатня пропускна здатність каналів передачі даних. Використовуючи модель Леонтьєва-Форда, можна знаходити оптимальні рішення для перерозподілу задач між серверами, покращення ефективності передачі даних та зниження загальних витрат енергії.

Цей підхід забезпечує більш ефективне та раціональне використання ресурсів, підвищує надійність та стійкість цифрових платформ до пікових навантажень, а також покращує якість обслуговування клієнтів завдяки зниженню часу відповіді системи [5].

Модель Леонтьєва-Форда також створює основу для автоматизованих систем управління ресурсами, які можуть реагувати на зміни в режимі реального часу. Це дозволяє цифровим платформам бути більш гнучкими та адаптованими до постійно змінюваних умов.

Завдяки можливостям моделі Леонтьєва-Форда, цифрові платформи можуть значно покращити свою ефективність, сталість та якість обслуговування, що є важливим кроком у розвитку сучасних технічних систем.

Список літератури

1. Кожевська О. В. Дослідження динамічної модифікованої моделі Леонтьєва-Форда // Ефективна економіка. – 2012. – № 5.
2. Альошин Я. І. Стратегічний аналіз трансформаційних змін на основі моделі Леонтьєва-Форда // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка. – 2020. – № 3(210). – С. 6-12.
3. Кірдіна О. Детермінанти розвитку цифрових платформ та їх вплив на економіку // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2018. – № 63. – С. 45-52.
4. Кравченко С. Цифрові платформи: підходи до класифікації та визначення ролі в економіці // Бізнес Інформ. – 2018. – № 5. – С. 50-56.
5. Мельник Л. Г. Цифрова трансформація // Наукові праці НУХТ. – 2023. – Т. 29, № 4. – С. 45-52.